



Biodiversidad de Porifera en México

Biodiversity of Porifera in Mexico

José Luis Carballo^{1✉}, Patricia Gómez² y José Antonio Cruz-Barraza¹

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (Unidad Académica Mazatlán). Av. Joel Montes Camarena s/n, 82000 Mazatlán, Sinaloa, México.

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad Académica de Ecología y Biodiversidad Acuática). Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria 04510, México, D. F. México

✉jlcarballo@ola.icmyl.unam.mx

Resumen. Los primeros registros de esponjas en México se remontan al siglo XIX, siendo el naturalista británico Albany Hancock (1806-1873) el primero en citar a una esponja en aguas mexicanas. Sin embargo, a pesar de este comienzo tan temprano, no ha sido hasta las últimas décadas cuando se ha logrado un avance comparable al de los países con mayor tradición en el estudio del grupo. Actualmente, la fauna de esponjas de México, considerando únicamente la clase Demospongiae, está compuesta por 517 especies, siendo 174 de ellas endémicas. Poco más de la mitad de las especies (292) en México se distribuyen en el Atlántico, pero la mayoría de las que son endémicas pertenecen a la región del Pacífico (138 especies), indicando este hecho la falta de estudios sobre el grupo en toda el área del Pacífico este y especialmente en las costas de Sudamérica. Es importante comentar que las clases Calcarea y Hexactinellida, dada la falta casi total de estudios sobre ellas, no se han incluido en este trabajo. Durante la última década y aunado al incremento en el conocimiento de la diversidad de esponjas en las costas de México, se han realizado estudios funcionales, muchos de ellos en los ecosistemas coralinos.

Palabras clave: esponjas, diversidad, biogeografía, importancia ecológica, biotecnología.

Abstract. The first records of sponges in Mexico date back to the nineteenth century, being the British naturalist Albany Hancock (1806-1873) the first to cite a sponge in Mexican waters. However, despite this early beginning, it was not until recent decades when the knowledge of sponges has achieved a breakthrough comparable to countries with a tradition in the study of the group. Currently, the sponge fauna of Mexico, considering only the class Demospongiae, consists of 517 species, with 174 of them endemic to Mexico. Just over half of the species (292), are distributed in the Mexican Atlantic, but most of the endemics are from the Mexican Pacific (138 species), indicating this figure the lack of studies on the group in the whole area of the eastern Pacific, and especially on the coasts of South America. It is important to note that the classes Calcarea and Hexactinellida, given the almost total lack of research on them, are not included in this work. During the last decade, coupled with the increase in the knowledge of diversity of sponges of Mexico, functional studies have been conducted, many of them in coral reef ecosystems.

Key words: sponges, diversity, biogeography, ecological importance, biotechnology.

Introducción

México es uno de los países del mundo considerados como megadiversos ya que además de presentar un alto porcentaje de endemismos, forma parte del selecto grupo de naciones poseedoras de la mayor cantidad y diversidad de animales y plantas (Espinosa et al., 2008). Sin embargo, aunque el grado de conocimiento de la diversidad terrestre es alto, los grupos de invertebrados marinos como las esponjas, han sido poco estudiados a pesar de ser uno de los grupos más biodiversos y abundantes de los ecosistemas acuáticos de todo el mundo (Soest et al., 2012).

Las esponjas que constituyen el phylum Porifera son los organismos acuáticos multicelulares más primitivos y simples que se conocen y es un grupo clave para entender la evolución de los metazoarios (Erpenbeck y Wörheide, 2007). En esencia, una esponja es una agrupación de células que funcionan juntas, pero con poca integración y control de sus actividades celulares. Una de las células típicas de las esponjas son los coanocitos, células flageladas que se encargan de crear el flujo interno de agua, de atrapar y digerir las partículas de alimento, de absorber el oxígeno y de expulsar sustancias de desecho. No obstante, su gran éxito se debe probablemente a que poseen un tipo de células llamadas arqueocitos, con una habilidad única en el reino animal ya que tienen la capacidad de transformarse en cualquier otro tipo de célula que la esponja necesite, además

de servir como un sistema único de reparación celular. Este diseño estructural, aunque aparentemente simple, les ha permitido sobrevivir a muchas crisis y extinciones durante los últimos 600 millones de años.

Importancia ecológica y comercial. La importancia ecológica de las esponjas se debe en gran parte a su capacidad para filtrar grandes cantidades de agua, ya que en promedio pueden bombear 1 200 veces su propio volumen por día (Carballo y Gómez, 2002). Debido a esta gran capacidad de filtración, cumplen una función muy importante en el acoplamiento bento-pelágico, ya que entrelazan las cadenas alimentarias entre los distintos organismos de los ecosistemas marinos, además de ser capaces de retirar hasta el 90% de las bacterias y entre el 23 y el 63% de los virus del agua (Hadas et al., 2006). También son importantes en el ciclo del carbonato de calcio, por su continuo proceso de bioerosión y reincorporación de material calcáreo al medio (Nava y Carballo, 2008), por la gran densidad y diversidad de microorganismos simbioses que pueden albergar, que pueden constituir entre el 40 y el 60% del volumen de algunas especies, y por la gran densidad y diversidad de microorganismos simbioses que pueden constituir entre el 40 y el 60% del volumen de algunas especies (Hentschel et al., 2006). Además, las esponjas contribuyen considerablemente a la producción primaria y a la regeneración de nutrientes en los ecosistemas donde habitan (Webster, 2007).

Debido a la alta conexión con el medio que las rodea, las esponjas son uno de los grupos marinos más importantes como bioindicadores de la calidad ambiental (Carballo y Naranjo, 2002) y las esponjas coralinas son paleoindicadoras por su esqueleto, de cambios ambientales históricos con una antigüedad superior a la de los propios corales hermatípicos (Swart et al., 1998).

Desde la antigüedad, las esponjas marinas ya eran utilizadas por el hombre como utensilios domésticos, como esponjas de baño, o para acojinarse sillas y cascos de batalla. Actualmente, son cultivadas y comercializadas por empresas de la industria cosmética sobre todo para la obtención de esponjas de baño. Probablemente, una de las características más importantes de las esponjas desde el punto de vista biotecnológico se debe a la gran variedad de productos naturales que producen, ya que seguramente es el grupo marino más importante en cuanto a la producción de compuestos bioactivos (van Soest y Braekman, 1999). De hecho, uno de los pocos fármacos de origen marino que se comercializan en la actualidad se encontró en 1950, en la esponja del Caribe *Tethya crypta* (actualmente *Cryptotethya crypta*). Posteriormente por síntesis, se obtuvieron los análogos Ara-A (Vidarabin, Vidarabin Thilo®), antivirales muy efectivos sobre todo contra diversos herpes y los Ara-C (Cytarabin, Alexan®, Udacil®, Laracit®), actualmente uno de los pocos compuestos efectivos contra leucemias

y linfomas en adultos y niños (McConnell et al., 1994). Más recientemente, a finales del 2010, se aprobó el uso de otro compuesto derivado de una esponja marina, el Halaven (mesilato de eribulina), análogo sintético de la halicondrina B, un producto natural aislado de la esponja marina *Halichondria okadai*, indicado para el tratamiento del cáncer de mama (Cortés et al., 2011).

En México, el estudio de los productos naturales derivados de esponjas se inició entre la década de los 70 y 80, fundamentalmente por el Dr. Gerardo Green del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Green y Bakus, 1975; Green, 1977a; Green et al., 1990). Posteriormente, otros investigadores realizaron algunos trabajos sobre el mismo tema (Cruz-Sosa et al., 1990; Quijano et al., 1994; Carballo et al., 2006; Hernández-Guerrero, 2007; Zubía et al., 2008). Sin embargo, es importante mencionar que hasta el momento no se ha consolidado en el país una línea de investigación basada en la biotecnología de productos naturales de invertebrados marinos, especialmente de esponjas. Parte del problema para mantener una línea de investigación de este tipo estriba en la dificultad para obtener suficiente cantidad del producto activo para realizar los estudios farmacológicos, al menos durante las fases preclínica y clínica de estudio, ya que la recolección de esponjas es un proceso que debe ser descartado de antemano debido a que la mayoría presenta un crecimiento muy lento. En México, también se han hecho algunos estudios pilotos para la producción de esponjas en sistemas naturales y controlados que demuestran que la producción de metabolitos activos a partir de esponjas cultivadas podría ser una opción viable para algunas especies (Carballo et al., 2010).

Otro campo interesante donde las esponjas están incursionando es el de los biomateriales, los cuales son el resultado de un largo proceso evolutivo y nos muestran lo que ha conseguido la naturaleza después de millones de años de evolución, creando no sólo materiales con propiedades extraordinarias, sino también técnicas sofisticadas de fabricación, más allá de lo que es capaz la tecnología actual (Elices, 2000). En este campo, las esponjas marinas también constituyen un recurso increíble, ya que el esqueleto de algunas especies, principalmente las del género *Aplysina*, tienen una estructura tal que funciona como andamiaje para el cultivo de células en la regeneración de tejidos como el cartilago (Ehrlich, 2010a, b). Las esponjas también han adquirido un gran interés debido a que son capaces de construir nanoestructuras de silicio (espículas) (Fig. 1) a temperatura ambiente que pudieran tener una aplicación importante en la industria del silicio (Bond y McAuliffe, 2003).

Problemática en el estudio de las esponjas. En la actualidad, la taxonomía de los Porifera está basada principalmente en la morfología de sus elementos esqueléticos (espículas) (Fig. 1)

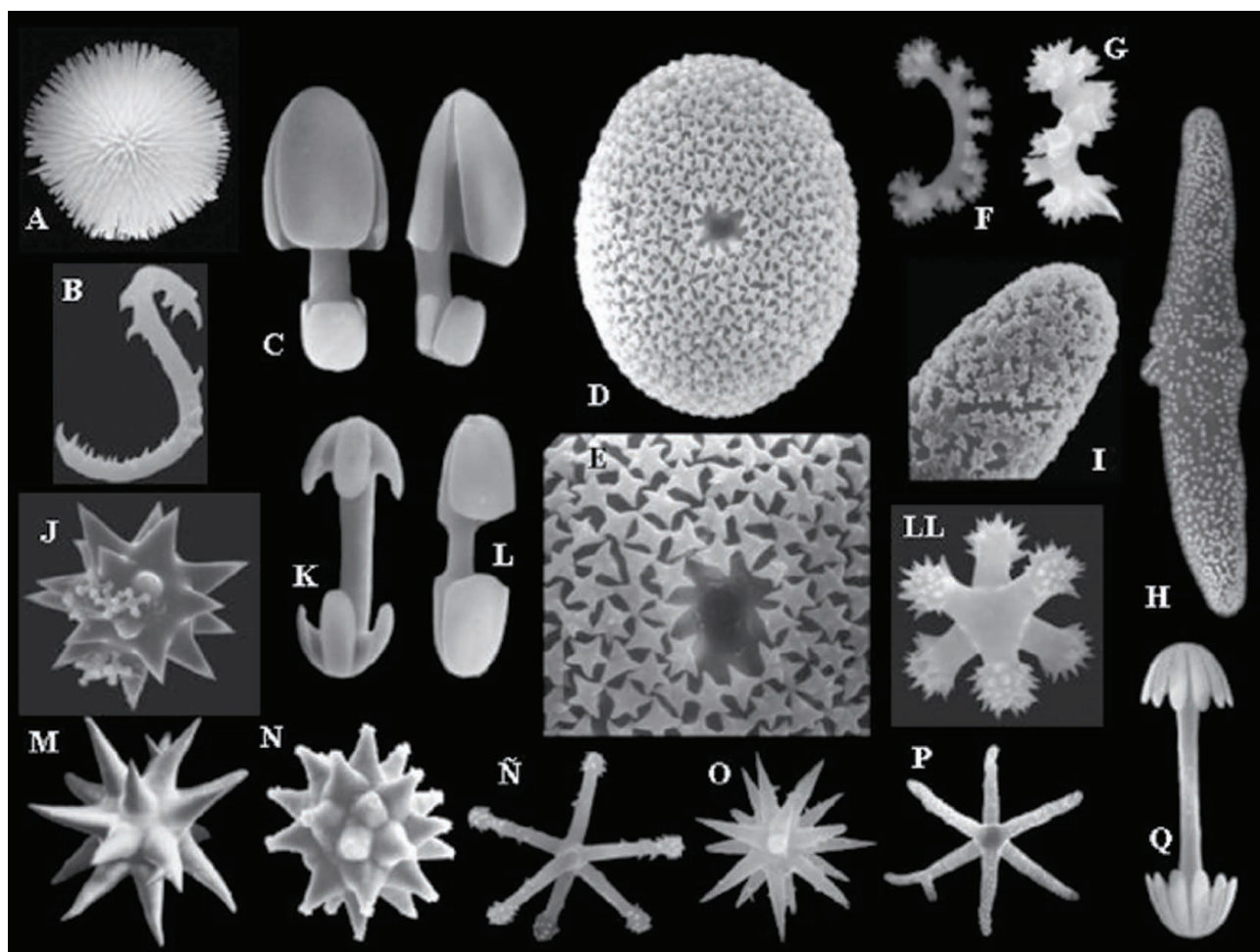


Figura 1. Algunos ejemplos de la ultraestructura de espículas microescleras de diferentes esponjas: A, transicional a esterraster; B, sigmaespira de *Cinachyrella*; C, anisoquela de *Mycale*; D-E, esterraster de *Geodia*; F-G, espirasteres de Hadromerida; H-I, aspidaster de *Erylus*; J, M, esferaster de *Tethya*; K-L, isoquelas de Microcionidae, LL, P, tilaster y quiaster de *Tethya*; N, esferaster de *Chondrilla*; Ñ, quiaster de *Erylus*; O, oxiaster de *Geodia*; Q, birotulo de *Iotrochota* (fotos al microscopio electrónico de barrido por Yolanda Hornelas de Uribe).

y en su disposición en el cuerpo de la esponja. Sin embargo, el poco conocimiento que se tiene sobre los procesos de espiculogénesis y la verdadera función de las espículas en el esqueleto, dificulta el uso de estos caracteres como base para reconstrucciones filogenéticas (Uriz et al., 2003). Aunado a ésto, las esponjas presentan una extraordinaria plasticidad (Figs. 2-4) que afecta los caracteres morfológicos utilizados en su clasificación, lo que dificulta la realización de estudios taxonómicos y filogenéticos, dando como resultado hipótesis que cambian a los pocos años (Erpenbeck y Wörheide, 2007). Esta complejidad en su estudio ha resultado en la falta de especialistas en muchos países, particularmente en México. Por otro lado, el Dr. Gerardo Green quien inició sus proyectos sobre poríferos en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) en 1974, falleció en 1986 casi al comienzo de su carrera. La continuidad de uno de sus

proyectos sobre biodiversidad se mantuvo hasta la actualidad en el Laboratorio de Taxonomía y Sistemática de Esponjas Marinas del mismo instituto en Ciudad Universitaria. Posteriormente, la creación del Laboratorio de Ecología del Bentos en el Instituto de Ciencias del Mar (UNAM) en 1999, marcó un punto de inflexión en el estudio de las esponjas de México debido por una parte, al gran número de alumnos de maestría y doctorado que se especializan en esponjas y por otra, a la intensa labor de investigación realizada en aguas del Pacífico mexicano.

En la actualidad, existen 2 colecciones formales en México y ninguna de éstas resguarda los ejemplares citados en la literatura antigua ya que éstos se encuentran dispersos en colecciones extranjeras, principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica y en Inglaterra, aunque también lamentablemente, algunas de ellas se han perdido. Las

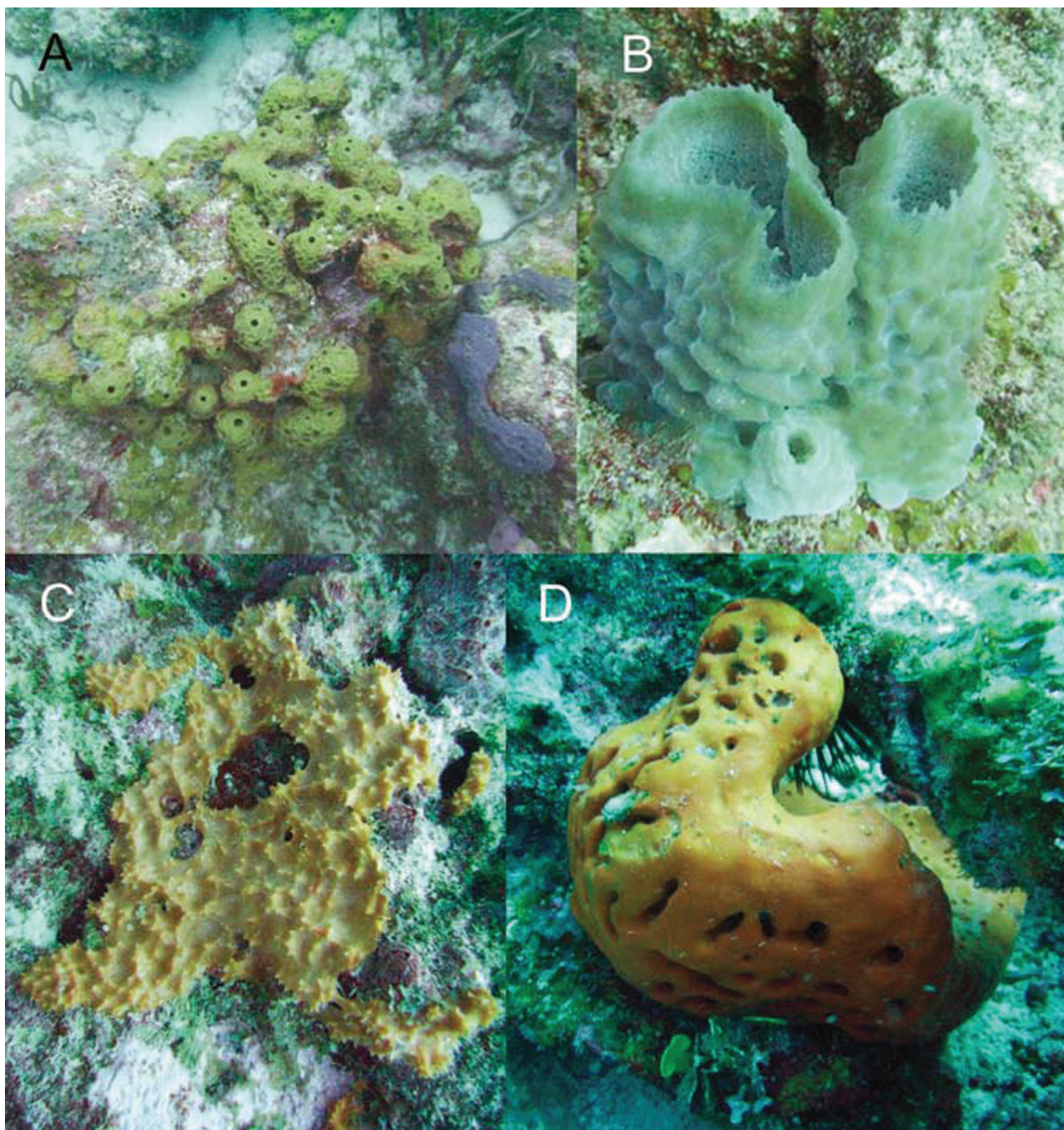


Figura 2. Esponjas del golfo de México, cayo Arenas y bancos Ingleses, Campeche: A, *Smenospongia aurea*; B, *Callyspongia plicifera*; C, *Scopalina ruetzleri*; D, *Agelas clathrodes*.

colecciones de esponjas más importantes se encuentran depositadas en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Una de ellas es la Colección Nacional del Phylum Porifera Gerardo Green en el D. F., la cual alberga alrededor de 16 000 ejemplares (55 tipos), algunos de ellos recolectados desde el año de 1934 a la fecha y provenientes de todos los litorales marinos de la República Mexicana (Gómez, 2009).

La otra colección es la de Esponjas, ubicada en la Unidad Académica Mazatlán, del ICMYL - UNAM (registro OAX-MAM-135-10-02), que cuenta con 3 000 ejemplares y 70 tipos del Pacífico mexicano.

Revisión histórica del estudio de los poríferos en México. El primer científico que comenzó con el estudio de las esponjas en México fue Albany Hancock, quien describió

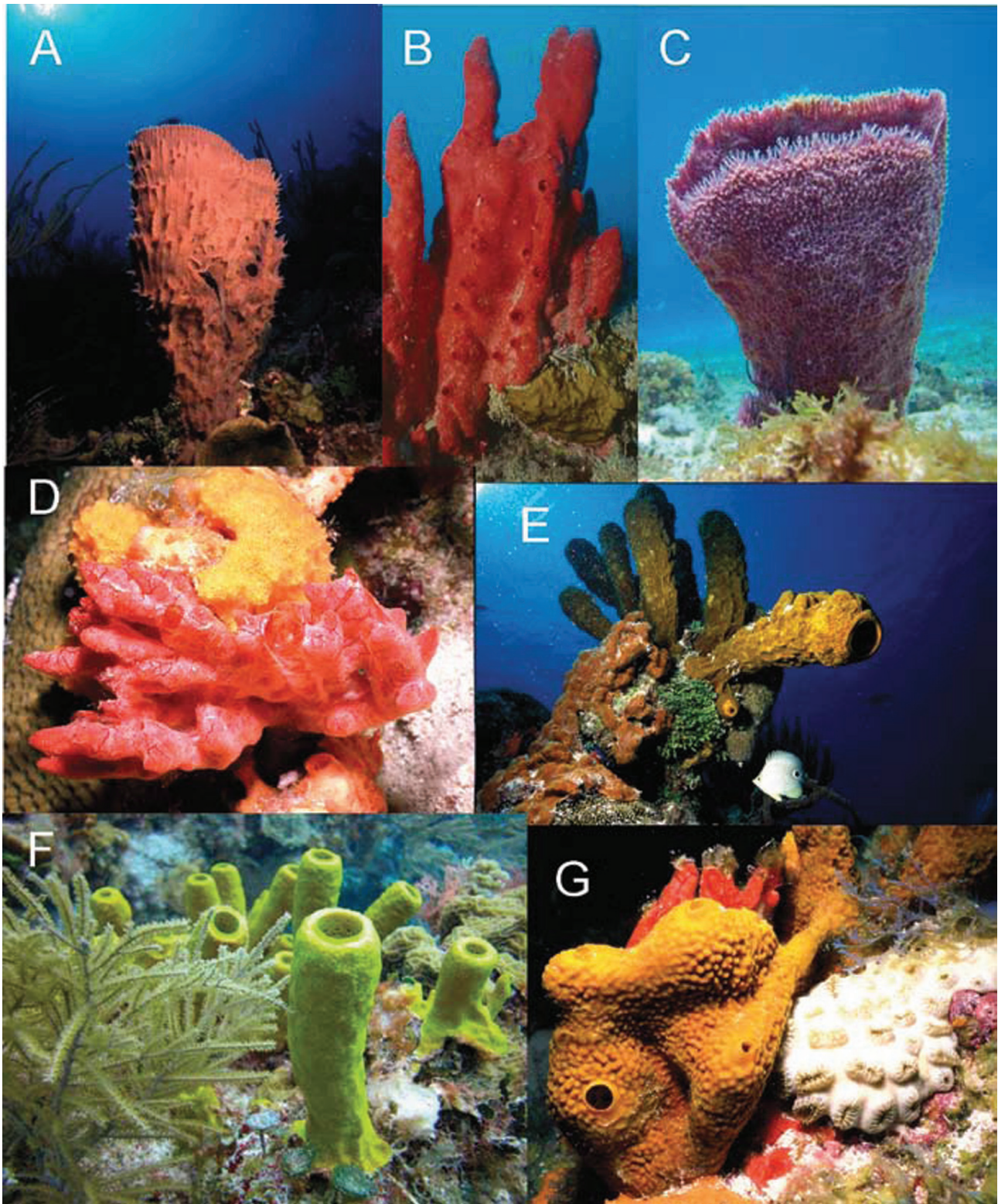


Figura 3. Esponjas del Caribe (banco Chinchorro, Quintana Roo). A, *Callyspongia vaginalis*; B, *Amphimendon compressa*; C, *Niphates digitalis*; D, *Monanchora arbuscula*; E, *Ectyoplasia ferox* abajo a la izquierda y *Aplysina fistularis* tubular amarilla; F, *Aplysina fistularis*; G, *Aiolochoia crassa*.

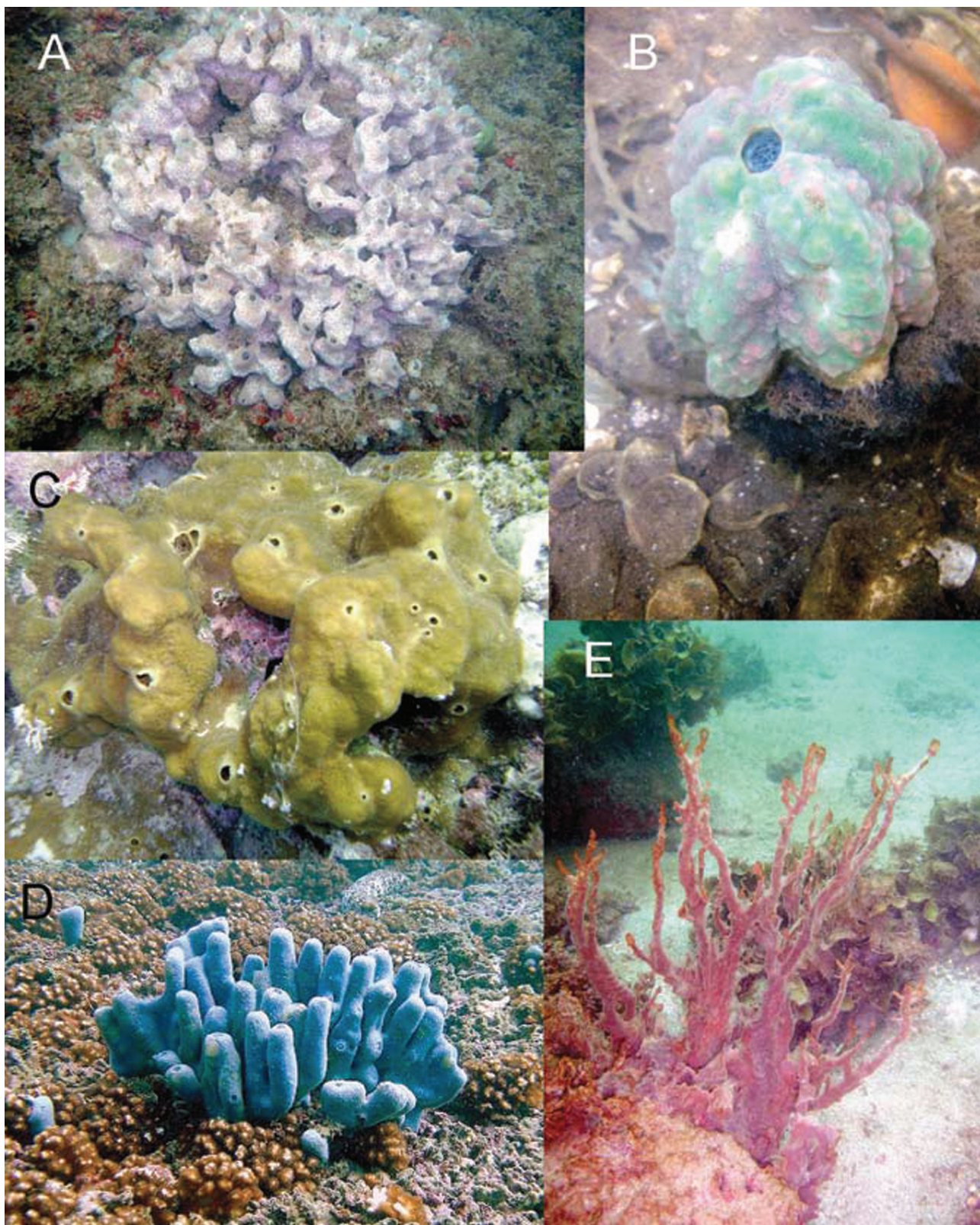


Figura 4. Esponjas del Pacífico. A, *Haliclona caerulea*; B, *Craniella* sp.; C, *Cliona raromicrosclera*; D, *Amphimedon texotli*; E, *Mycale ramulosa*.

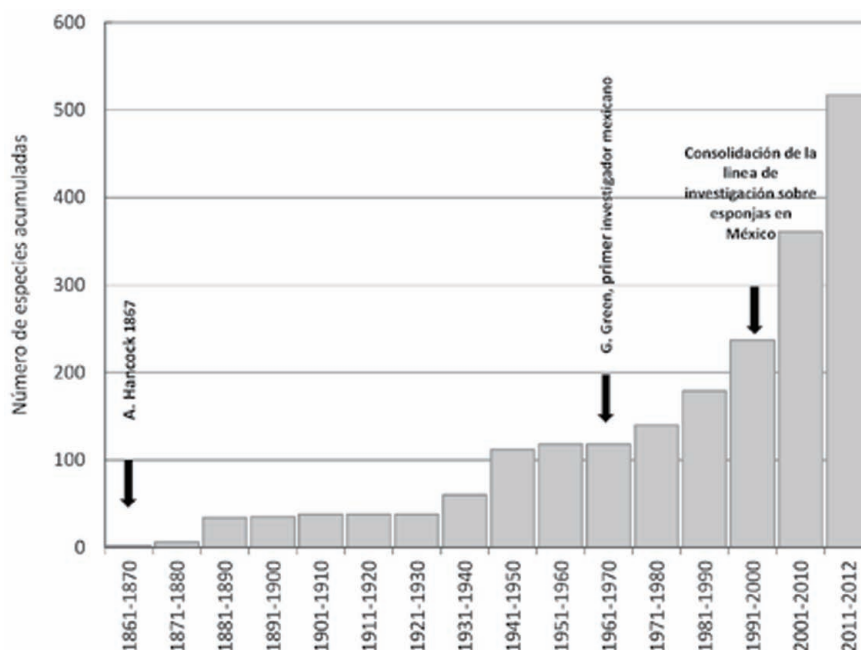


Figura 5. Número acumulado de especies (Cl. Demospongiae) descritas desde el comienzo de los estudios sobre esponjas en México hasta la actualidad. Se marcan los principales acontecimientos a lo largo de estos años (ver texto para más información).

2 organismos de la bahía de Mazatlán (océano Pacífico, Sinaloa) en 1867 y pocos años más tarde otro naturalista, Bowerbank (1873), describió 3 especies mexicanas sin especificar la localidad. Posteriormente, casi a la vez se empezaron a publicar algunos trabajos en la costa atlántica (Topsent, 1889) y pacífica de México (Carter, 1882), y se realizaron algunas expediciones científicas locales como la del Albatross (Pacific Expeditions of the US Fish Commission Steamer Albatross), que se centró en las aguas del Pacífico este (Wilson, 1904; Lendenfeld, 1910).

Después de más de 5 décadas, el estudio de la fauna de esponjas en el Pacífico mexicano fue retomado por Laubenfels (1935), quien describió 9 especies procedentes de Baja California y 10 años después, Dickinson (1945) publicó una monografía sobre especies del golfo de California.

El primer investigador mexicano dedicado al estudio de la biodiversidad de Porifera fue el Dr. Gerardo Green (1946-1986), cuyos estudios revelan un gran número de especies en aguas mexicanas (Green, 1977a, b; Gómez y Green, 1984; Green y Gómez, 1986; Green et al., 1986; Green et al., 1990).

Sin embargo, no ha sido hasta las 2 últimas décadas cuando se ha logrado un importante avance en el conocimiento de las esponjas de México, en la región del Atlántico (Gómez, 2002, 2006, 2007) y sobre todo en el Pacífico mexicano (e.g. Gómez y Bakus, 1992; Gómez, 1998; Bautista et al., 2006; Cruz-Barraza y Carballo, 2008;

Carballo et al., 2010; Cruz-Barraza et al., 2011). Debido a la importancia ecológica de las esponjas, se han realizado estudios más funcionales, algunos relacionados con su papel en los ecosistemas coralinos de México (e.g. Carballo et al., 2008a, b; Nava y Carballo, 2008; Ávila y Carballo, 2009; Bautista et al., 2010).

Diversidad

En la Figura 5 se representa la evolución del estudio de las esponjas en aguas mexicanas desde el trabajo de Hancock, hasta la actualidad. Es evidente que hasta la década de 1970, no empieza de manera consistente el estudio de las esponjas en México, marcado este momento por el hecho de que es el investigador nacional, Dr. Green, quien continúa la labor de los naturalistas extranjeros. Posteriormente, a finales de los 90, se da otro hito importante marcado por la creación del Laboratorio de Ecología del Bentos, ICMYL - UNAM, el cual se centra principalmente en estudio de las esponjas del Pacífico este. A partir de ese momento, se consolida la línea de investigación a nivel nacional, sobre todo a través de la formación de jóvenes doctores especializados en el grupo.

Actualmente, la fauna de esponjas de las costas de México se compone de 517 especies, la gran mayoría de la clase Demospongiae, siendo el orden Poecilosclerida el que presenta mayor diversidad con el 29% de las especies; seguido por el Haplosclerida con el 15% y el Hadromerida con el 13% (Fig. 6, Cuadro 1). En general, podemos afirmar

que el grado de conocimiento que tenemos de la clase Demospongiae se puede considerar bueno, sobre todo en lo que concierne a los órdenes Poecilosclerida y Hadromerida, fundamentalmente porque se han realizado tesis de maestría y doctorado, y trabajos específicos para esos grupos. Sin embargo, otros como el Haplosclerida y sobre todo el Halichondrida, necesitan ser estudiados con la misma intensidad que los anteriores.

Por regiones biogeográficas, el área que alberga más especies es la provincia de Cortés con 156 especies (25% del total), seguida por el Banco de Campeche con 148 (24%) y el Caribe mexicano con 111 (17.8%) (Fig. 7, Cuadro 1). Es evidente que estas provincias han recibido mayor esfuerzo de muestreo durante los últimos años; el resto, sobre todo las ubicadas en el Pacífico, requieren de más estudios para conocer la diversidad que albergan de manera más aproximada.

Al analizar la distribución de las especies, es evidente que gran parte de ellas se encuentran a lo largo de las aguas Atlántico-Americanas (49%) (Fig. 8, Cuadro 1). Es importante resaltar que este dato se refiere principalmente a las especies caribeñas, las cuales sin duda, se encuentran en una de las áreas geográficas más conocidas en el mundo en lo que se refiere a esponjas. De las especies conocidas en México, cerca del 29% pueden considerarse endémicas, el número hace referencia principalmente a especies descritas en aguas del Pacífico mexicano. Sin

embargo, este porcentaje podría estar sobreestimado debido al bajo conocimiento que se tiene de la fauna de esponjas de México en general y particularmente en el Pacífico oriental.

En menores porcentajes podemos encontrar especies que tienen amplia distribución (5%), distribución anfiopacífica (3.4%) y anfiatlántica (2%). Si bien en las últimas décadas se ha demostrado la escasa capacidad de dispersión que tienen en general las esponjas, aún existe un considerable número de registros válidos de especies con una amplia distribución. Esto puede ser atribuido a la falta de actualización de muchas especies descritas en la literatura antigua y a la dificultad que existe en la actualidad para distinguir especies con morfología muy similar, como en el caso de especies crípticas o gemelas.

Se puede concluir que el conocimiento en la diversidad de los poríferos y su papel ecológico en los ecosistemas mexicanos, ha recibido un importante avance durante los últimos años. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la gran importancia de este grupo zoológico y es evidente que con la continuidad que actualmente se le está dando a diversas investigaciones, y sobre todo con la incorporación de técnicas moleculares (Cruz-Barraza et al., 2012), en poco tiempo se dispondrá de un buen conocimiento de la biodiversidad mexicana de esponjas y su potencial aplicación en diversos campos (e.g. farmacología, biotecnología y conservación).

Cuadro 1. Distribución sistemática de las especies de esponjas (Cl. Demospongiae) mexicanas en sus respectivos órdenes (columnas 1 y 2). Distribución en las provincias biogeográficas ubicadas en territorio nacional (columnas 3, 4) y afinidades biogeográficas (columnas 5, 6)

<i>Orden</i>	<i>%</i>	<i>Provincia</i>	<i>%</i>	<i>Afinidades</i>	<i>%</i>
Poecilosclerida	29	Cortés	25	Atlántico-americanas	49
Haplosclerida	15	Banco de Campeche	24	Endémicas	29
Hadromerida	13	Caribe mexicano	17.8	Pacífico este	11
Halichondrida	9	Mexicana	11	Amplia distribución	5
Astrophorida	9	Suroeste del golfo de México	10.6	Anfiopacífica	3.4
Dictyoceratida	8	Californiana	9	Anfiatlántica	2
Verongida	5	Panámica	2		
Spirophorida	3	A. Revillagigedo	1		
Homoclerophorida	2				
Chondrosida	2				
Dendroceratida	2				
Agelasida	2				
Listhiatida	1				
Halisarcida	0.2				

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo y financiamiento. A Sergio Nolasco Pérez por la toma de fotografías submarinas de las Figuras 2 y 3. A los buques oceanográficos Puma y Justo Sierra, y a la Conabio, PAPIIT y CONACyT, por el apoyo otorgado durante estos últimos años para el estudio de las esponjas del Pacífico de México.

Literatura citada

- Avila, E. y J. L. Carballo. 2009. A preliminary assessment of the invasiveness of the Indo-Pacific sponge *Chalinula nematifera* on coral communities from the tropical Eastern Pacific Ocean. *Biological Invasions* 11:257-264.
- Bautista, E., J. L. Carballo, J. A. Cruz-Barraza y H. Nava. 2006. New coral reef boring sponges (Hadromerida, Clionaidae) from the Mexican Pacific Ocean. *Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom* 86:963-970.
- Bautista, E., J. L. Carballo y M. Maldonado. 2010. Reproductive cycle of the coral-excavating sponge *Thoosa mismalolli* (Clionaidae) from Mexican Pacific coral reefs. *Invertebrate Biology* 129:285-296.
- Bond, R. y J. C. McAuliffe. 2003. Silicon biotechnology: New opportunities for carbohydrate science. CSIRO Publishing, Australian Journal of Chemistry 56:7-11.
- Bowerbank, J. S. 1873. Contributions to a general history of the Spongiadae. Part IV. Proceedings of the Zoological Society of London. p. 3-25.
- Carballo, J. L. y P. Gómez. 2002. Las esponjas marinas de Sinaloa: un recurso desconocido en nuestro litoral. In *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (ed.). Sinaloa, México. p. 117-125.
- Carballo, J. L. y S. Naranjo. 2002. Environmental assessment of a large industrial marine complex based on a community of benthic filter-feeders. *Marine Pollution Bulletin* 44:605-610.
- Carballo, J. L., E. Zubía y M. J. Ortega. 2006. Biological and chemical characterization of three new species of Dysidea (Porifera: Demospongiae) from the Pacific Mexican coast. *Biochemical, Systematics and Ecology* 34:498-508.
- Carballo, J. L., J. A. Cruz-Barraza, H. Nava y E. Bautista-Guerrero. 2008a. Esponjas perforadoras de sustratos calcáreos. Importancia en los ecosistemas arrecifales del Pacífico este. Conabio, México. 183 p.
- Carballo, J. L., E. Bautista-Guerrero y E. Leyte-Morales. 2008b. Boring sponges and the modeling of coral reefs in the east Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 356:113-122.
- Carballo, J. L., B. Yáñez, E. Zubía, M. J. Ortega y C. Vega. 2010. Culture of explants from the sponge *Mycale cecilia* to obtain bioactive mycalazals-type metabolites. *Marine Biotechnology* 12:516-525.
- Carter, H. J. 1882. Some sponges from the West Indies and Acapulco in the Liverpool Free Museum described, with general and classificatory remarks. *Annals and Magazine of Natural History* 5:266-301.
- Cortés, J., J. O'Shaughnessy, D. Loesch, J. L. Blum, L. T. Vahdat y K. Petrakova. 2011. On behalf of the EMBRACE investigators. Eribulin monotherapy versus treatment of physician's choice in patients with metastatic breast cancer (EMBRACE): a phase 3 openlabel randomised study. *Lancet* 377:914-923.
- Cruz-Barraza, J. A. y J. L. Carballo. 2008. Taxonomy of sponges (Porifera) associated with corals from the Mexican Pacific Ocean. *Zoological Studies* 47:741-758.
- Cruz-Barraza, J. A., J. L. Carballo, E. Bautista-Guerrero y H. H. Nava. 2011. New species of excavating sponges (Porifera: Demospongiae) on coral reefs from the Mexican Pacific Ocean. *Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom* 91:999-1013.
- Cruz-Barraza, J. A., J. L. Carballo, A. Rocha-Olivares, E. Hermann y M. Hog. 2012. Integrative taxonomy and molecular phylogeny of genus *Aplysina* (Demospongiae: Verongida) from Mexican Pacific. *PLoS ONE* 7:e42049.
- Cruz-Sosa, F., L. Quijano, F. Gómez-Garibay y T. Ríos. 1990. Brominated metabolites from the sponge *Aplysina (Verongia) thiona*. *Journal of Natural Products* 53:543-548.
- Dickinson, M. G. 1945. Sponges of the Gulf of California. Allan Hancock Pacific Expeditions. Vol. 11(1). Los Angeles. 251 p.
- Elices, M. 2000. Materiales biológicos y biomateriales. *Boletín de la Real Académica de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Naturales*. p. 113-125.
- Ehrlich, H., M. Ilan, M. Maldonado, G. Muricy, G. Bavestrello, Z. Kljajic, J. L. Carballo, S. Schiaparelli, A. Ereskovsky, P. Schupp, R. Born, H. Worch, V. V. Bazhenov, D. Kurek, V. Varlamov, D. Vyalikh, K. Kummer, V. V. Sivkov, S. L. Molodtsov, H. Meissner, G. Richter, E. Steck, W. Richter, S. Hunoldt, M. Kammer, S. Paasch, V. Krasokhin, G. Patzke y E. Brunner. 2010a. Three dimensional chitin-based scaffolds from *Verongida* sponges (Demospongiae: Porifera). Part I. Isolation and Identification of Chitin. *International Journal of Biological Macromolecules* 47:132-40.
- Ehrlich, H., E. Steck, M. Ilan, M. Maldonado, G. Muricy, G. Bavestrello, Z. Kljajic, J. L. Carballo, S. Schiaparelli, A. Ereskovsky, P. Schupp, R. Born, H. Worch, V. V. Bazhenov, D. Kurek, V. Varlamov, D. Vyalikh, K. Kummer, V. V. Sivkov, S. L. Molodtsov, H. Meissner, G. Richter, S. Hunoldt, M. Kammer, S. Paasch, V. Krasokhin, G. Patzke, E. Brunner y W. Richter. 2010b. Three dimensional chitin-based scaffolds from *Verongida* sponges (Demospongiae: Porifera). Part II. Biomimetic Potential and Applications.

- International Journal of Biological Macromolecules 47:141-145.
- Erpenbeck, D. y G. Wörheide. 2007. On the molecular phylogeny of sponges. *Zootaxa* 1668:107-126.
- Espinosa, D., S. Ocegueda, C. Aguilar, O. Flores y J. Llorente-Bousquets. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *In* Capital natural de México: conocimiento actual de la biodiversidad, vol. 1, Conabio, México. p. 33-65.
- Gómez, P. 1998. First record and new species of *Gastrophanella* (Porifera: Demospongiae: Lithistida) from the central East Pacific. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 111:774-780.
- Gómez, P. 2002. Esponjas marinas del Golfo de México y el Caribe. AGT Editor, S. A. México D. F. 134 p.
- Gómez, P. 2006. *Yucatania clavus*, new genus and species of the family Thrombidae (Porifera: Demospongiae: Astrophorida) from the continental shelf off Yucatán, México. *Proceeding of the Biological Society of Washington* 119:339-345.
- Gómez, P. 2007. Inventario de las esponjas del PNSAV, con nuevos registros de especies (Porifera: Demospongiae). *In* Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano, A. Granados-Barba, L. G. Abarca-Arenas y J. M. Vargas-Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. p. 51-72.
- Gómez, P. 2009. La colección nacional del Phylum Porifera Gerardo Green. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, FES-Zaragoza* 12:87-90.
- Gómez, P. y G. J. Bakus. 1992. *Aplysina gerardogreeni* and *Aplysina aztecus* (Porifera: Demospongiae) new species from the Mexican Pacific. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 19:175-180.
- Gómez, P. y G. Green. 1984. Sistemática de las esponjas marinas de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 11:65-90.
- Green, G. 1977a. Ecology of toxicity in marine sponges. *Marine Biology* 40:207-215.
- Green, G. 1977b. Sinopsis taxonómica de 13 especies de esponjas del Arrecife La Blanquilla, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 4:79-98.
- Green, G. y G. J. Bakus. 1975. Toxicidad en esponjas y holoturias. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 2:61-66.
- Green, G., L. Fuentes-Velázquez y P. Gómez. 1986. Nuevos registros de Porifera del Arrecife La Blanquilla, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13:127-146.
- Green, G. y P. Gómez. 1986. Estudio taxonómico de las esponjas de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13:273-300.
- Green, G., P. Gómez y G. J. Bakus. 1990. Antimicrobial and ichthyotoxic properties of marine sponges from Mexican waters. *In* New perspectives in sponge biology, K. Rützler (ed.). Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. p. 109-114.
- Hadas, E., M. Shpigel y M. Ilan. 2006. Sea ranching of the marine sponge *Negombata magnifica* (Demospongiae, Latrunculiidae) as a first step for latrunculin B mass production. *Aquaculture* 244:159-169.
- Hentschel, U., K. M. Usher y M. W. Taylor. 2006. Marine sponges as microbial fermenters. *FEMS Microbiology Ecology* 55:167-177.
- Hernández-Guerrero, C. J., E. Zubía, M. J. Ortega y J. L. Carballo. 2007. Cytotoxic dibromotyrosine-derived metabolites from the sponge *Aplysina gerardogreeni*. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 15:5275-5282.
- Laubenfels, M. W. de. 1935. Some sponges of Lower California (Mexico). *American Museum Novitates* 779:1-14.
- Lendenfeld, R. von. 1910. Reports on the scientific results of the expedition to the eastern tropical Pacific in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer "Albatross" from 1904-1905. The sponges I. The Geodiidae. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology* 41:1-259.
- McConnell, O. J., R. E. Longley y E. E. Koehn. 1994. The discovery of marine natural products with therapeutic potential. *In* The discovery natural products with therapeutic potential, V. P. Gullo (ed.). Butterworth-Heinemann, Boston. p. 109-174.
- Nava, H. y J. L. Carballo. 2008. Chemical and mechanical bioerosion of boring sponges from Mexican Pacific coral reefs. *Journal of Experimental Biology* 211:2827-2831.
- Quijano, L., F. Cruz-Sosa, I. Navarrete, P. Gómez y T. Ríos. 1994. Alkyl Glycerol monoethers from the marine sponge *Desmapsamma anchorata*. *Lipids* 29:731-734.
- Soest, R. W. M. van y J. C. Braekman. 1999. Chemosystematics of Porifera: a review. *Memoirs of the Queensland Museum* 44:569-598.
- Soest, R. W. M. van, N. Boury-Esnault, J. Vacelet, M. Dohrmann, D. Erpenbeck, N. De Voogd, N. Santodomingo, B. Vanhoorne, M. Kelly y J. N. A. Hooper. 2012. Global diversity of sponges (Porifera). *PLoS one* 7(4):e35105.
- Swart, P., M. D. Moore, C. D. Charles y F. Böhm. 1998. Sclerosponges may hold new keys to marine paleoclimate. *EOS, Transactions, American Geophysical Union* 79:633-636.
- Uriz, M. J., X. Turon, M. A. Becerro y G. Agell. 2003. Siliceous spicules and skeleton frameworks in sponges: Origin, diversity, ultrastructural patterns, and biological functions.

- Microscopy Research and Technique 62:279-299.
- Topsent, E. 1889. Quelques spongiaires du Banc de Campêche et de la Pointe-a-Pitre. Mémoires de la Société zoologique de France 2:30-52.
- Webster, N. S. 2007. Sponge disease: A Global threat? Environmental Microbiology 9:1363-1375.
- Wilson, H. V. 1904. The sponges. Reports on an exploration off the West coasts of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands. Memoirs of the Museum of Comparative Zoology 30:1-164.
- Zubia, E., M. J. Ortega, C. J. Hernández-Guerrero y J. L. Carballo. 2008. Isothyocyanate sesquiterpenes from a sponge of the genus *Axinyssa*. Journal of Natural Products 71:608-614.